

**EVALUASI BEBAN NOZZLE POMPA PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER  
REAKTOR RISET TRIGA BANDUNG**Hana Subhiyah<sup>1</sup>, Budi Santoso<sup>1</sup><sup>1</sup> PRPN-BATAN, Komplek Puspiptek Gd.71 Serpong, Tangerang 15310**ABSTRAK**

**EVALUASI BEBAN NOZZLE POMPA PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR RISET TRIGA MARK II BANDUNG.** Salah satu sistem yang penting di dalam operasi Reaktor TRIGA Mark II Bandung adalah sistem pendingin primer. Jika perpipaan sistem pendingin primer mengalami kegagalan akibat beban yang diterima nozzle yang ada pada pompa berlebih maka akan mengganggu proses pendinginan sistem pendingin primer. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan evaluasi beban nozzle pompa sistem pendingin primer Reaktor Riset TRIGA Mark II Bandung. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Caesar II versi 5.20. Acuan analisis yang digunakan adalah code API 610. API 610 merupakan Standar internasional yang menetapkan persyaratan untuk pompa sentrifugal. Kriteria design pompa berdasarkan API 610 harus memenuhi persamaan F1.2a, F1.2b, F1.2c, jika ketiga persamaan terpenuhi maka tidak perlu konsultasi dengan vendor pompa. Hasil keluaran Caesar yang berupa gaya dan moment digunakan untuk mengevaluasi besarnya beban yang diterima oleh masing - masing nozzle pompa. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kondisi operasi 2 dan operasi 3 masing – masing nozzle di kedua pompa menerima gaya dan moment lebih dari 1 kali tetapi lebih kecil dari 2 kali Tabel 4 – API 610 sehingga masing – masing nozzle harus dikombinasikan agar memenuhi persamaan F1.2b dan F1.2c. Hasil dari perhitungan secara manual menunjukkan bahwa nozzle pompa sesuai dengan persamaan F1.2b, dan persamaan F1.2c sehingga tidak perlu konsultasi dengan vendor.

Kata Kunci : perpipaan, sistem pendingin primer, reaktor, nozzle pompa, API 610.

**ABSTRACT**

**PUMP NOZZLE LOAD EVALUATION ON PRIMARY COOLING SYSTEM BANDUNG TRIGA RESEARCH REACTOR.** One important system in the TRIGA 2000 reactor operation is the primary cooling system. If the primary coolant system piping failure due to loads received excessive nozzle that is pumped it will disrupt the process of cooling the primary cooling system. Therefore in this study evaluated the burden of primary cooling system pump nozzle TRIGA 2000 Reactor Bandung. The analysis was performed with the aid of Caesar II software version 5.10. Reference analysis method is the API code 610. API 610 is an international standard that specifies requirements for centrifugal pumps. Design criteria based on the API 610 pumps must satisfy the equation F1.2a, F1.2b, F1.2c, if fulfilled, the third equation does not need consultation with the pump vendor. Data taken from the results of the run section to calculate the amount of load received by each - each nozzle pump. The results of the calculation that each - each nozzle on both pumps have the force and moment of less than 2 times but each table - each nozzle must be combined because the operating dicase 2 and operating case 3 between suction and discharge more than 1 time table so that should satisfy the equation F1. 2b and F1.2c. Results of calculation showed that the manual pump nozzle in accordance with F1.2b equation, and equation F1.2c thus no consultation with the vendor.

Keywords: piping, primary coolant system, reactor, pump nozzle, API 610

## 1. PENDAHULUAN

BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) adalah salah satu lembaga penting yang mempunyai sebuah reaktor nuklir di Bandung yang bernama reaktor TRIGA MARK II. Reaktor ini dibangun sejak tahun 1965 dan digunakan untuk penelitian, pelatihan, dan pembuatan radioisotop<sup>[1]</sup>. Reaktor TRIGA Mark II Bandung (dibuat oleh General Atomic Co, San Diego, CA, USA) di Puslitbang Teknik Nuklir (P3TN) dirancang dan dibangun dengan daya 250 kW. Reaktor ini mencapai kritis pertama kalinya pada 10 Oktober 1964 Sejak itu reaktor dioperasikan pada daya maksimum 250 kW.

Pada tahun 1971, seiring dengan meningkatnya kegiatan, daya reaktor ditingkatkan menjadi 1000 kW. Hingga tahun 1996, atau sekitar 32 tahun dari saat kritis pertama kali, reaktor telah beroperasi secara aman. Operasi reaktor TRIGA Mark II berlangsung lancar, teratur tanpa mengalami gangguan yang berarti<sup>[2]</sup>.

Salah satu sistem yang penting di dalam operasi Reaktor TRIGA Mark II adalah sistem pendingin primer. Sistem pendingin primer ini terdiri dari pompa, penukar panas dan sistem perpipaan yang di dalamnya ada fluida pendingin untuk memindahkan energi yang berupa panas kelilingan<sup>[1]</sup>.

Jika perpipaan sistem pendingin primer mengalami kegagalan akibat beban yang diterima *nozzle* yang ada pada pompa berlebih maka akan mengganggu proses pendinginan sistem pendingin primer. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan evaluasi beban *nozzle* pompa sistem pendingin primer Reaktor TRIGA Mark II Bandung. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Caesar II versi 5.20. Acuan analisis yang digunakan adalah code API 610.

Analisis dilakukan secara terpisah dalam 2 (dua) bagian jalur pipa yang melewati pompa yaitu dari teras reaktor ke *nozzle* pompa dan dari *nozzle* pompa ke *nozzle* penukar panas. Setelah itu dilakukan evaluasi beban *nozzle* yang diterima pompa.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Analisa Statik

Analisa statik adalah memperhitungkan beban statik yang akan menimpa pipa secara perlahan sehingga sistem pemipaan memiliki

cukup waktu untuk menerima, bereaksi dan mendistribusikan beban tadi keseluruh system perpipaan sampai tercapainya keseimbangan.

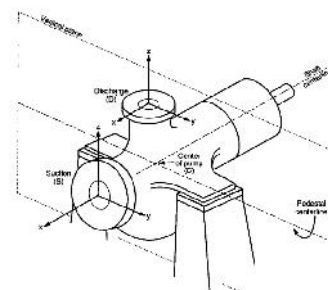
Beban operasi adalah beban yang terjadi pada system pemipaan selama operasi panas yang meliputi beban sustain dan beban termal.

**1. Beban Sustain :** yaitu beban akibat berat pipa, berat fluida, tekanan dalam pipa, tekanan luar, pengaruh angin dan gempa, serta beban dari salju yang menimpa pipa. Satu hal yang penting disini adalah jika pipa terkena beban demikian, maka bisa mengakibatkan pipa menjadi pecah dan *collaps*, jika tidak dilakukan upaya pencegahan.

**2. Beban Termal :** beban ini adalah beban yang ditimbulkan akibat dilahannya *expansion* atau *contraction* suatu pipa yang mengalami pemuaian ataupun pengkerutan akibat temperatur dari fluida yang mengalir didalamnya. Penahanan (*restriction*) yang diberikan dapat berupa *Anchor*, atau tersambung ke equipment. Satu hal yang perlu juga diperhatikan adalah bahwa beban termal ini adalah sifatnya siklus, artinya jika *anchor* dilepas atau fluidanya di hentikan mengalir di pipa tersebut, maka hilang pula beban yang ditimbulkannya<sup>[3]</sup>.

### 2.2 Pompa

Pompa secara sederhana didefinisikan sebagai alat transportasi fluida cair. Jadi, jika fluidanya tidak cair, maka belum tentu pompa bisa melakukannya. Misalnya fluida gas, maka pompa tidak dapat melakukan operasi pemindahan tersebut. Namun, teknologi sekarang sudah jauh berkembang di mana mulai diperkenalkan pompa yang multi-fasa, yang dapat memompakan fluida cair dan gas<sup>[4]</sup>. Pompa yang digunakan di sistem pendingin primer adalah pompa *sentrifugal* dengan 2 *nozzle* yaitu *discharge* dan *suction*. Berikut adalah gambar pompa sentrifugal berdasarkan API 610 :



- Key**
1. Shaft centreline
  2. Discharge
  3. Suction
  4. Centre of pump
  5. Pedestal centreline
  6. Vertical plane

Gambar 1. Pompa horizontal dengan *end suction* dan *top discharge nozzle*

API 610 merupakan Standar internasional yang menetapkan persyaratan untuk pompa sentrifugal. Kriteria design pompa berdasarkan API 610 harus memenuhi persamaan F.1.2a, F.1.2b, F.1.2c, Dengan :

F.1.2a adalah kriteria dimana gaya dan momen aktual yang bekerja pada masing-masing *nozzle* pompa tidak melebihi 2x Tabel 1.

F.1.2b dimana gaya resultan ( $FR_{\text{Suction}}$ ,  $FR_{\text{Discharge}}$ ) dan Momen resultan ( $MR_{\text{Suction}}$ ,  $MR_{\text{Discharge}}$ ) yang bekerja pada masing-masing *nozzle* pompa harus memenuhi persamaan berikut :

$$[FR_D / (1.5 \times FR_{DT})] + [MR_D / (1.5 \times MR_{DT})]$$

$$\frac{1}{2} \leq \dots \dots \dots (F.1)$$

$$[FR_S / (1.5 \times FR_{ST})] + [MR_S / (1.5 \times MR_{ST})]$$

$$\frac{1}{2} \leq \dots \dots \dots (F.2)$$

Dengan :

$FR_D$  adalah resultan gaya *discharge* aktual

$FR_S$  adalah resultan gaya *suction* aktual

F.1.2c dimana flange nozzle pompa harus diterjemahkan ke pusat pompa, besarnya gaya resultant yang diberikan ( $FRC_A$ ), moment resultant ( $MRC_A$ ) dibatasi oleh persamaan F.3, F.4 dan F.5 seperti berikut [5]:

$$FRC_A < 1.5 (FR_{ST} + FR_{DT}) \dots \dots \dots (F.3)$$

$$MYC_A < 2.0 (MY_{ST} + MY_{DT}) \dots \dots \dots (F.4)$$

$$MRC_A < 1.5 (MR_{ST} + MR_{DT}) \dots \dots \dots (F.5)$$

dengan :

$$FRC_A = [(FXC_A)^2 + (FYC_A)^2 + (FZC_A)^2]^{0.5}$$

dengan :

$$FXC_A = FXS_A + FXD_A$$

$$FYC_A = FYS_A + FYD_A$$

$$FZC_A = FZS_A + FZD_A$$

$$MRC_A = [(MXC_A)^2 + (MYC_A)^2 + (MZC_A)^2]^{0.5}$$

dengan :

$$MXC_A = MXS_A + MXD_A$$

$$((FYS_A)(ZS) + (FYD_A)(ZD) - (FZS_A)(YS) - (FZD_A)(YD)) / 1000$$

$$MYC_A = MYS_A + MYD_A + ((FXS_A)(ZS) + (FXD_A)(ZD) - (FZS_A)(XS) - (FZD_A)(XD)) / 1000$$

$$MZC_A = MZS_A + MZD_A - ((FXS_A)(YS) + (FXD_A)(YD) - (FYS_A)(XS) - (FYD_A)(XD)) / 1000$$

Tabel 1. *Load nozzle* berdasarkan API 610

Force/Moment	Nominal Size of Flange (NPS)								
	2	3	4	6	8	10	12	14	16
Each Top Nozzle									
FX	160	240	320	560	850	1200	1500	1600	1900
FY	130	200	260	460	700	1000	1200	1300	1500
FZ	200	300	400	700	1100	1500	1800	2000	2300
FR	290	430	570	1010	1560	2200	2600	2900	3300
Each Side Nozzle									
FX	160	240	320	560	850	1200	1500	1600	1900
FY	200	300	400	700	1100	1500	1800	2000	2300
FZ	130	200	260	460	700	1000	1200	1300	1500
FR	290	430	570	1010	1560	2200	2600	2900	3300
Each End Nozzle									
FX	200	300	400	700	1100	1500	1800	2000	2300
FY	160	240	320	560	850	1200	1500	1600	1900
FZ	130	200	260	460	700	1000	1200	1300	1500
FR	290	430	570	1010	1560	2200	2600	2900	3300
Each Nozzle									
MX	340	500	680	1200	1800	2600	3200	4700	5400
MY	170	250	340	600	900	1300	1600	2300	2700
MZ	250	380	510	900	1300	1900	2400	3500	4000
MR	460	690	930	1710	2500	3600	4400	6300	7200

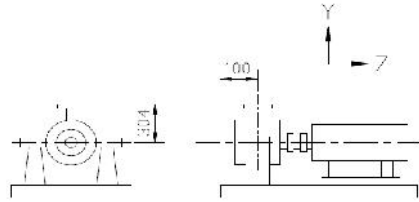
### 3. TATA KERJA

Metode yang dipakai dalam analisa tegangan pada penelitian ini adalah metode manual untuk menganalisa apakah beban yang diterima *nozzle* masih dalam batas yang diijinkan sesuai dengan standart API 610. Analisa dilakukan dengan bantuan software perpipaan yakni CAESAR II versi 5.20

#### 3.1 Komponen Nozzle Pompa

Pada sistem perpipaan ini menggunakan properties sebagai berikut :

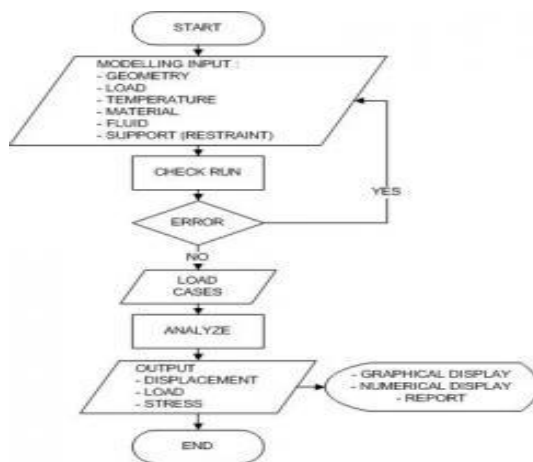
1. Bahan Pipa & Flange : Aluminium Alloy
2. Nominal pipe size : 6" dan 4"
3. Ketebalan pipa : 40
4. Material Flange : Aluminium B247 6061
5. Temp Operating : 45.3°C
6. Pressure Operating : 1.5295 (kg/cm2)
7. Density Fluid : 0.9992 (kg/mm3)



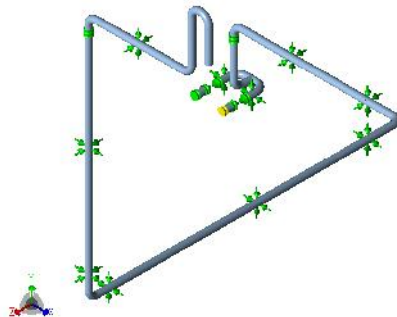
Gambar 2. Koordinat nozzle pompa

### 3.2 Pemodelan Struktur

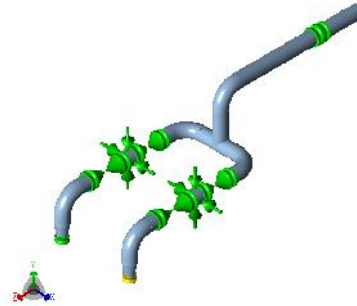
Terlebih dahulu struktur dimodelkan sesuai dengan keadaan di lapangan dengan bantuan software CAESAR II versi 5.20. Tahapan selanjutnya setelah pemodelan adalah melakukan analisa tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan. Berikut ini adalah gambar tampilan pemodelan setelah dilakukan analisa tegangan pada sistem perpipaan sistem pendingin primer pompa *suction* dan *discharge*.



Gambar 3. Flow chart pengujian dengan Caesar II 5.10



Gambar 4. Gambar pemodelan pompa suction



Gambar 5. Gambar pemodelan pompa Discharge

### 3.3 Analisa Nozzle pada Pompa

Setelah kita mendapatkan data besaran tegangan pada sistem perpipaan di pompa, kemudian dilanjutkan menganalisa *displacement* serta *restraint* yang terjadi. Kemudian dilanjutkan dengan menganalisa beban aktual yang diperbolehkan pada masing-masing *nozzle* yang ada pada pompa *suction* maupun *discharge*.

Langkah selanjutnya adalah melakukan running. Jika output yang dihasilkan masih gagal karena besar momen dan gaya yang dihasilkan dari pemodelan melebihi batasan *allowable* dari code dan standard yang digunakan maka model yang sudah dibuat harus dievaluasi lagi. Kemudian dari hasil running ini dilakukan analisa beban yang diterima *nozzle* pada masing – masing pompa yang ada dalam sistem pendingin primer dengan mengambil data kondisi operasi dan sustain.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pipa yang didalamnya mengalir fluida, baik panas maupun dingin akan mengalami pemuaian (*expansion*) atau pengkerutan (*contraction*) yang berakibat timbulnya gaya yang bereaksi pada ujung koneksi (*connection*), akibat dari temperature, berat pipa dan fluida itu sendiri serta tekanan didalam pipa.

Dengan demikian, sebuah piping system haruslah didisain se-flexible mungkin demi menghindari pergerakan pipa (*movement*) akibat *thermal expansion* atau *thermal contraction* yang bisa menyebabkan:

1. Kegagalan pada piping material karena terjadinya tegangan yang berlebihan atau overstress maupun fatigue.
2. Terjadinya tegangan yang erlebihan pada pipe support atau titik tumpuan.
3. Terjadinya kebocoran pada sambungan flanges maupun di Valves.
4. Terjadi kerusakan material di Nozzle Equipment (Pump, Tank, Pressure Vessel, Heat Exchanger etc) akibat gaya dan moment yang berlebihan akibat expansion atau contraction pipa tadi.
5. Resonansi akibat terjadi Vibration.<sup>[3]</sup>

Batasan beban aktual yang diperbolehkan pada masing-masing nozzle yang tersambung dengan pompa telah ditetapkan dalam standard, yaitu standard API (American Petroleum Institute) 610 untuk pompa sentrifugal.

Dari analisa diperoleh besarnya gaya dan momen yang diterima oleh nozzle pompa seperti terlihat dalam tabel 2. Gaya dan momen tersebut kemudian dibandingkan dengan gaya dan momen maksimum yang diizinkan untuk nozzle pompa berdasarkan API 610.

Tabel 2. Gaya dan moment hasil run caesar untuk masing-masing nozzle pompa

Restrain summary untuk pompa discharge							
NODE	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	Case	Kg	Kg	Kg	kg-cm.	kg-cm.	kg-cm.
10	1 (OPE)	-108	-66	140	4170	331	5319
	2 (OPE)	-87	-90	233	7847	640	3499
	3 (OPE)	-131	6	-18	-559	53	7131
	4 (SUS)	3	0	-7	-165	-97	28
	5 (SUS)	3	0	-7	-165	-97	28
	6 (SUS)	3	0	-7	-165	-97	28
270	1 (OPE)	110	-65	144	4354	-345	-5402
	2 (OPE)	133	7	-18	-567	-67	-7212
	3 (OPE)	89	-89	239	8104	-653	-3580
	4 (SUS)	-3	0	-7	-165	97	-28
	5 (SUS)	-3	0	-7	-165	97	-28
	6 (SUS)	-3	0	-7	-165	97	-28

Restrain summary untuk pompa suction							
NODE	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	Case	Kg	Kg	Kg	kg-cm.	kg-cm.	kg-cm.
10	1 (OPE)	-178	-93	245	1309	2873	1260
	2 (OPE)	-137	-94	313	1338	2218	1287
	3 (OPE)	-218	-87	169	1220	3522	1174
	4 (SUS)	0	-74	-5	1001	1	832
	5 (SUS)	0	-74	-5	1001	1	832
	6 (SUS)	0	-74	-5	1001	1	832
130	1 (OPE)	217	-28	259	-263	3503	1461
	2 (OPE)	257	-26	186	-235	4158	1499
	3 (OPE)	176	-25	322	-217	2844	1367
	4 (SUS)	-1	-73	0	-991	11	-834
	5 (SUS)	-1	-73	0	-991	11	-834
	6 (SUS)	-1	-73	0	-991	11	-834

Setelah dibandingkan dengan tabel API 610 bisa diketahui bahwa gaya dan moment yang ada pada setiap nozzle pompa kurang dari 2 kali tabel. Tetapi pada kondisi operasi 2 dan operasi 3 untuk pompa A dan pompa B melebihi tabel sehingga pompa *suction* dan *discharge* harus dikombinasikan sesuai dengan persamaan F1.2b dan F1.2c. dan berikut hasil perhitungan adalah :

Tabel 3 Persamaan F1.2b untuk pompa A

Persamaan F1.2.b	Kondisi Operasi 2	Kondisi Operasi 3
F.1	0.9889	0.59814
F.2	0.57755	0.50373

Tabel 4. Persamaan F1.2c untuk pompa A

Persamaan F1.2.c	Kondisi Operasi 2	Kondisi Operasi 3
F.3	618.18 < 1,076.68	388.8 < 1,076.68
F.4	126.52 < 379	-31.96 < 379
F.5	152.70 < 753.55	139.4 < 753.55

Tabel 5. Persamaan F1.2b untuk pompa B

Persamaan F1.2.b	Ope 2	Ope 3
F.1	0.6063	1.013
F.2	0.557	0.6028

Tabel 6. Persamaan F1.2c untuk pompa B

Persamaan F1.2.c	Ope 2	Ope 3
F.3	425.07 < 1,076.68	630.83 < 1,076.68
F.4	-16.09 < 379	149.03 < 379
F.5	145.41 < 753.55	175.580 < 753.55

setelah dilakukan kombinasi antara suction dan discharge untuk pompa A dan juga pompa B bisa dilihat bahwa berdasarkan persamaan F12.b dan persamaan F12.c nozzle pompa masih dalam batas allowable sehingga tidak perlu konsultasi dengan vendor pompa.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nozzle pompa masih dalam batas allowable berdasarkan tabel API 610 yaitu kurang dari 2 kali tabel API 610.
2. Kombinasi pompa A dan Pompa B berdasarkan persamaan F12.b dan persamaan F12.c masih dalam

allowable sehingga tidak perlu konsultasi dengan vendor.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Rahardjo, Henky Poedjo, "Pengaruh Gempa Patahan Lembang Terhadap Tegangan Pipa Sistem Pendingin Primer Reaktor TRIGA 2000 Bandung", Proseding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Surakarta, 17 Oktober 2009.
2. Anhar R. Antariksawan, Aliq, Puradwi, Ismu Handoyo, "EVALUASI/ DISAIN SISTEM PENDINGIN REAKTOR TRIGRA MARK II BANDUNG DAYA 2 MW", Proseding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-V, Serpong, 28 Juni 2000.
3. <http://pipestress2009.wordpress.com/2008/04/09/pengantar-dynamic-analysis-pada-caesar-ii/>
4. Priyoasmoro, Cahyo Hardo, "CARA MENGAJI PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM", Milis Migas Indonesia, diakses pada tanggal 5 Mei 2011.
5. API Standard 610, 1995, Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemical, and Gas Industry, American Petroleum Institute, Washington, DC.